UNE RECHERCHE SUR LE TAUX DE CHLORINITÉ DE L'EAU INTERSTITIELLE DANS LE LIT DE LA SLACK

par

K. NOOTER & F. LIEBREGTS

Adresse postale: Institut de Zoologie taxonomique (Zoölogisch Museum), Université d'Amsterdam, Pays-Bas

SUMMARY

The supposition that the Slack, a river in northwestern France discharging directly into the sea, has a significantly higher chlorinity in its bottom sediments than in the overflowing river water, is confirmed.

A device to take samples of sediment from the river bottom has been constructed and is described in this publication. To obtain the interstitial water, the sample is simply centrifuged.

A peculiar phenomenon, which could not be explained, is that after a regular decrease of the interstitial chlorinities, a considerable increase (to > 1.5 ‰) takes place at a distance of some 2½ kilometres from the mouth.

The interstitial chlorinity in the estuarine part of the river proved to be almost constant, regardless of the tidal cycle.

I. INTRODUCTION

Un nombre d'observations anciennes de la part de quelques auteurs anglosaxons (Alexander et al., 1932, 1935) ont démontré que, dans un estuaire, l'eau qui reste dans le substrat à une certaine distance de la mer pendant la marée basse, possède une salinité plus élevée que l'eau estuarine à la même distance de la mer. De même, les salinités interstitielles dans le sable, même si à marée basse de l'eau douce s'écoule sur ce substrat, sont plus élevées que celles de l'eau libre qui se trouve au-dessus (Reid, 1932). Les salinités *à proximité* du fond et *dans* le fond ont été mesurées par Mangelsdorf (1967, fig. 5). Il trouvait que, près du fond, l'eau était sujet à de grands changements de salinité (souvent de l'ordre de 25 ‰), tandis que dans le fond ces fluctuations étaient très légères (de l'ordre de quelques ‰ au maximum).

Ces observations ont des conséquences importantes sur la répartition des organismes qui creusent dans le fond des estuaires, ou ceux qui y mènent une existence interstitielle. Alexander et al. (1932, 1935) ont déjà porté l'attention sur ce fait. En général, les organismes marins ou polyhalins ayant un mode de vie creusant ou interstitiel pénètrent plus à l'intérieur d'un estuaire que prévu à l'aide de mesures de salinité de l'eau surnageante, et aussi plus que prévu à l'appui de l'observation de l'épifaune avec les mêmes tolérances osmotiques (cf. Milne, 1940).

Ceci sera surtout le cas pour les animaux vivant libres dans le substrat; en effet ceux qui vivent dans des tubes, sont irrigués plus facilement par l'eau surnageante.

L'on a entrepris les recherches présentes après la constatation, par une équipe de chercheurs de l'Institut de Zoologie Taxonomique de l'Université d'Amsterdam lors de leurs recherches sur la répartition de Gammaridés dans la Slack et son estuaire (cf. Stock et al., 1966; Dennert et al., 1969), que des espèces marines, tel *Corophium volutator* et *Bathyporeia* spec., se trouvaient dans des prélèvements du fond de la partie limnique de la rivière.[1])

Lors des recherches présentes, l'on a vérifié si la salinité interstitielle était plus élevée que celle de l'eau surnageante, non seulement dans l'estuaire proprement dit, non seulement dans la partie se trouvant à sec pendant chaque marée basse, mais aussi dans le lit toujours submergé de la partie limnique de la rivière, en amont de l'estuaire.

Incidemment, on a pu confirmer les observations d'Alexander et al. (1932, 1935) au sujet du taux de salinité plus élevé dans le sédiment de l'estuaire, et celles de Mangelsdorf (1967) au sujet des fluctuations plus atténuées dans ce sédiment.

II. LIEU DES RECHERCHES

L'on a entrepris les recherches présentes dans la Slack et son estuaire (fig. 1), une rivière dans le

[1]) L'on a rencontré ces espèces à la hauteur des endroits de prélèvement VIII jusqu'à XI des recherches présentes.

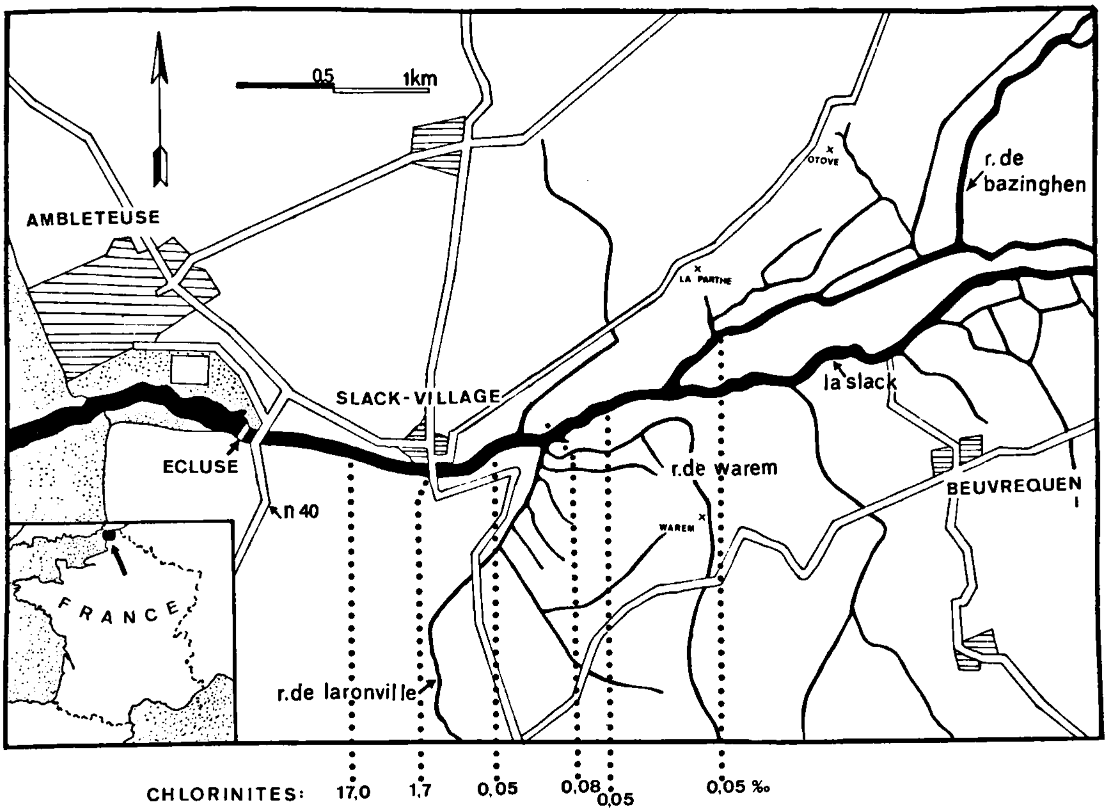


Fig. 1. Aperçu du cours inférieur de la Slack et ses tributaires, les ruisseaux de Laronville et de Warem et la Rivière de Bazinghen.

A l'Ouest de l'écluse, près de la Route Nationale 40, la rivière possède un caractère estuarin, lors de la marée haute il y a une grande affluence d'eau de mer causant une hausse de la salinité. L'écluse d'évacuation doit empêcher l'eau de mer de pénétrer dans la rivière lors des marées hautes, mais elle ne succède qu'en partie à accomplir sa tâche, comme en témoignent les chlorinités maximales (en ‰) aux six points d'observation dans la rivière près du fond pendant une grande marée, indiquées en bas de la figure.

X = ferme. (Modifié d'après Dennert et al., 1969).

département du Pas-de-Calais (N.O. de la France). L'estuaire se trouve à l'Ouest de la R.N. 40 et est séparé de la partie limnique de la rivière par une écluse d'évacuation, qui s'ouvre et se ferme automatiquement sur le rythme des marées.

Parce que l'écluse ne fonctionne pas de façon parfaite, de l'eau de mer peut pénétrer en amont de l'écluse lors de marées très hautes. Des observations de Dennert et al. (1969) démontrent que 2 km en amont de l'écluse, l'eau de la rivière à Slack-Village peut atteindre une chlorinité de 1,7‰ pendant une grande marée (cf. fig. 1). Pour une plus ample description du bassin de la Slack nous renvoyons le lecteur aux publications déjà citées de Stock et al. (1966) et de Dennert et al. (1969).

III. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

a) Le carottier

Nous devions développer un appareil avec lequel des prélèvements de fond pouvaient être faits dans de l'eau peu profonde (de 0,5 jusqu'à 1,5 mètres), sans qu'il y ait des interférences entre l'eau interstitielle et l'eau surnageante. En collaboration avec Monsieur H. H. Mittelberg, technicien de l'Institut de Zoologie taxonomique, nous avons réalisé un tel appareil (cf. fig. 2 pour le plan de construction).

Le fonctionnement de l'appareil est comme suit (cf. figs. 3 et 4) : l'appareil est placé verticalement sur le fond de la rivière (fig. 3, gauche). Un piston, qui va très justement dans le tube, empèche l'eau de la rivière de pénétrer. Ensuite, l'on enfonce le tube dans le sol à l'aide d'un marteau en bois, jusqu'à la profondeur voulue (figs. 3, centre, et 4).

Sous le piston se trouve le prélèvement du sol. Parce que des grains de sable ou des particules d'argile rendent le piston pratiquement solidaire du tube, le système fonctionne maintenant comme

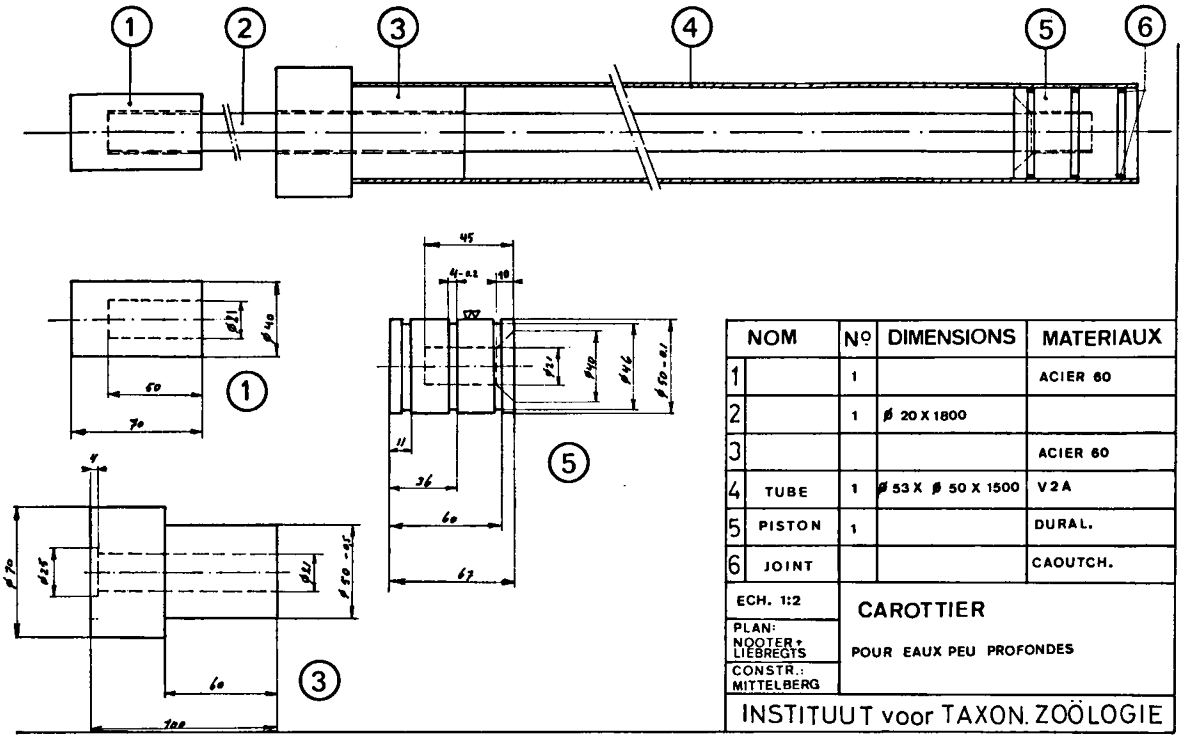


Fig. 2. Plan de construction d'un carottier pour eaux peu profondes.

une pipette: lorsqu'on retire l'appareil du sol, le prélèvement dans le tube reste en place; la colonne de sol se casse au ras du tube.

Une barre est alors introduit dans la partie supérieure du tube et enfoncé dans un creux du piston; ensuite on tape sur la barre avec un marteau en acier, expulsant ainsi le prélèvement avec le piston (fig. 3, droite).

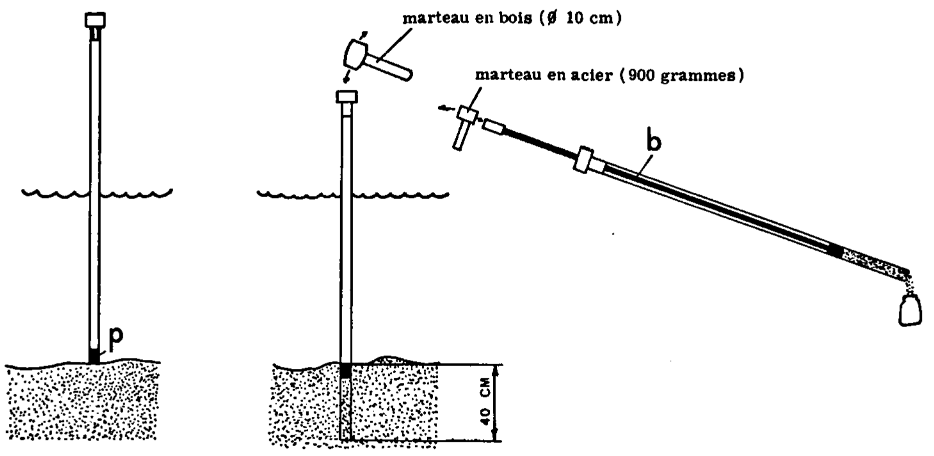


Fig. 3. L'utilisation du carottier pour eaux peu profondes. A gauche, le tube est placé sur le fond de la rivière; le piston (p) en position basse; au centre, le tube est enfoncé jusqu'à la profondeur normale; le piston se trouve repoussé vers le haut; à droite, l'échantillon est délogé du tube à l'aide d'une barre (b), qui est enfoncée dans un creux dans le piston, à partir du haut du tube.



Fig. 4. Le carottier est enfoncé dans le lit de la rivière.

b) L'extraction de l'eau interstitielle du prélèvement

Il était possible d'extraire une quantité d'eau allant de 0,5 jusqu'à 3 ml à partir d'un prélèvement de sol d'environ 75 grammes, à l'aide d'une centrifugeuse.

Il n'arrivait pas dans tous les cas que le sédiment était submergé. Dans la plupart de ces cas, on pouvait tout de même obtenir de l'eau en enlevant un tiers du prélèvement du tube de la centrifugeuse, et en centrifugeant ce qui restait.

Abstraction faite de 6 prélèvements sur un total de 160, il était possible d'extraire de l'eau en centrifugeant.

c) Les mesures de chlorinité

On s'est servi du chlorinimètre „E.E.L.", qui fonctionne suivant le principe de la détermination coulométrique des chlorides en solution aqueuse. L'appareil mesure depuis des concentrations de 0,01 jusqu'à 0,25 ‰ Cl^-.

Des mesures de concentrations plus fortes peuvent être exécutées à l'aide de dilutions.

Pour nos mesures, des quantités d'eau entre 0,1 et 10 ml suffisaient en règle générale, ceci dépendant de la concentration en ions Cl^-.

d) Les endroits de prélèvement

Toutes les mesures furent exécutées entre le 10 septembre et le 10 novembre 1970.

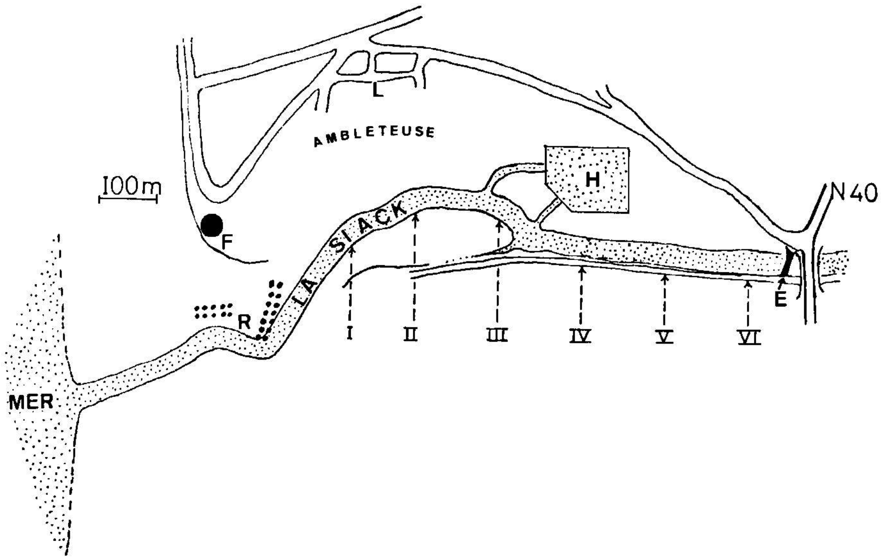


Fig. 5. La situation des endroits de prélèvement dans l'estuaire de la Slack (E = écluse d'évacuation; F = Fort Mahon; H = parc à huîtres; L = Laboratoire Ch. Maurice; N 40 = Route Nationale 40; R = revêtement en bois).

Recherche A:
Six endroits de prélèvement furent choisis dans l'estuaire de la Slack, à des distances d'environ 200 mètres l'un de l'autre (fig. 5).

Tous les prélèvements furent exécutés en double, dans le milieu du cours d'eau, lors de la marée basse. La profondeur de prélèvement était environ 40 cm. Parfois la longueur du prélèvement était nettement inférieure à 40 cm, parce que le sol dans le tube était plus ou moins comprimé (voir discussion). Ceci rendait difficile la détermination de la profondeur du prélèvement. La colonne du prélèvement était alors divisée en deux parties, une couche supérieure de 15—25 cm, et une couche inférieure de 25—40 cm de profondeur. En même temps que le prélèvement du sol, on effectuait une prise d'eau dans la rivière, près du fond.

Tous les prélèvements furent effectués dans un délai de trois heures (depuis une heure avant la marée basse jusqu'à deux heures après).

Recherche B:
Dix-sept endroits de prélèvement furent choisis dans la partie limnique de la Slack (fig. 6). Les mêmes méthodes que celles de la recherche A furent employées. Aux endroits no. VII et IX il était impossible d'effectuer un prélèvement du sol: à cause du lit dur ou pierreux il était impossible d'enfoncer le carottier. A l'endroit XX on a pu obtenir un prélèvement du sol, mais il était impossible d'en extraire de l'eau à l'aide de la centrifugeuse. Une explication est peut-être donnée par la structure très grossière du sable à cet endroit.

Le niveau d'eau dans la rivière oscillait entre 0,5 et 1,5 mètres durant nos recherches, dépendant des marées, ce qui fait qu'on n'a pas toujours pu mesurer pendant la marée haute. Cependant, la chlorinité de l'eau de la rivière ne changeait pas avec les marées au point où il aurait fallu en tenir compte lors des prélèvements.

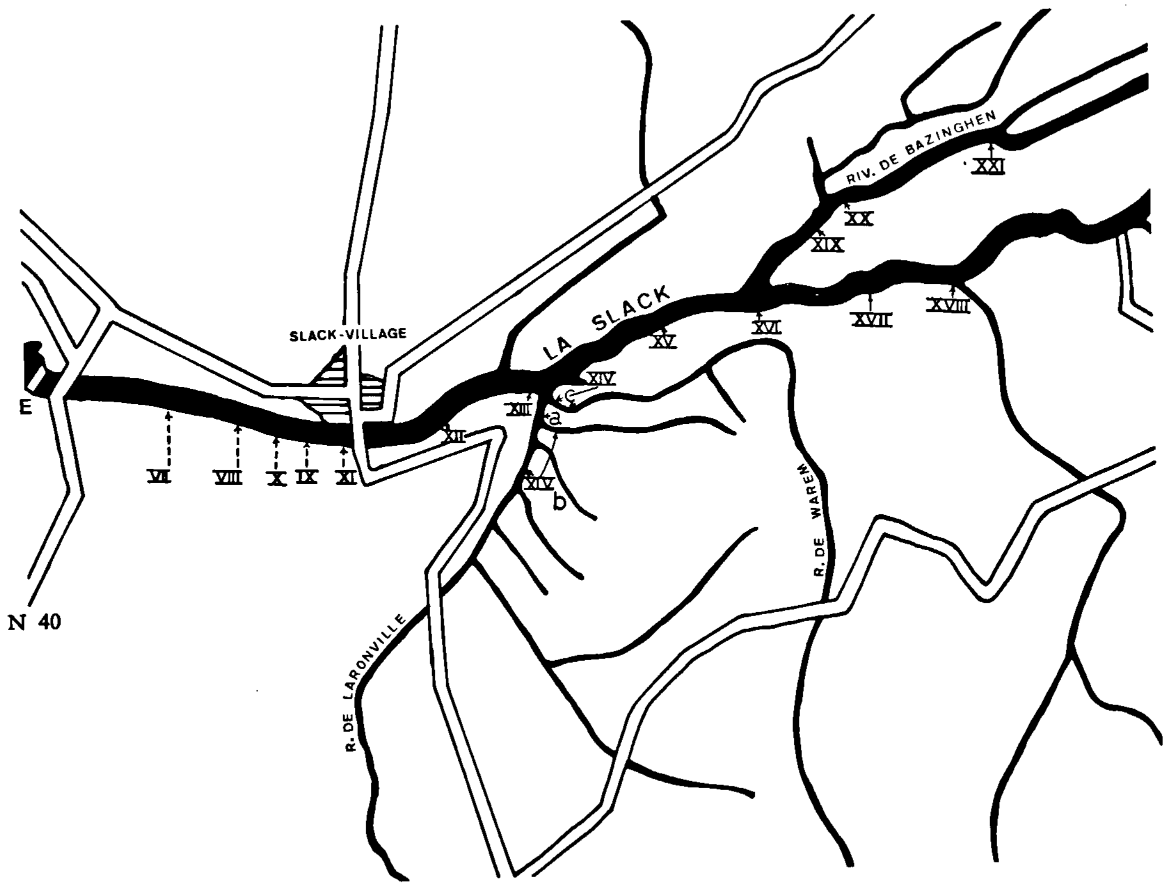


Fig. 6. La situation des endroits de prélèvement à l'est de l'écluse d'évacuation (E) et de la Route Nationale 40 (N 40). La figure montre le hameau de Slack, les ruisseaux de Warem et de Laronville, les rivières de Bazinghen et La Slack.

Pour des raisons pratiques on a décidé alors de n'effectuer les carottages que lors de la marée basse.

Recherche C:
Dans l'estuaire, perpendiculairement au rivage de l'endroit II, trois endroits de prélèvement furent choisis. L'un au milieu du cours d'eau (IIa), le second à sept mètres du milieu (IIb), le troisième à 15 mètres du milieu (IIc). Pendant sept heures et demi, des prélèvements furent effectués toutes les deux heures et demi, en commençant à onze heures. (La marée basse était à 10h30, la marée haute à 16h00).

En même temps, des prises d'eau près du fond furent effectuées en ces endroits.

L'endroit IIc n'était jamais recouvert d'eau durant les prélèvements.

L'endroit IIb se trouvait juste à la limite entre eau et terre sèche pendant la marée basse.

Le but de cette recherche était de vérifier combien la chlorinité de l'eau interstitielle dans l'estuaire était influencé par les marées.

IV. LES RÉSULTATS

Les mesures de la chlorinité de l'eau du fond de la rivière et de l'eau interstitielle de la recherche A et de la recherche B se trouvent résumées dans le tableau I.

Les résultats de la recherche C sont donnés par le tableau II.

T	Cl⁻ ‰				
	IIa		IIb		IIc
	FOND	INT.	FOND	INT.	INT.
11.00	.9	7.5	-	7.2	13.0
13.30	4.5	7.9	4.6	7.1	9.2
16.00	12.6	7.5	12.5	7.4	9.5
18.30	7.8	8.3	7.9	8.5	9.5

FOND = eau du fond de rivière
INT. = eau interstitielle
T = heure

Tableau II. Taux de chlorinité à l'endroit de prélèvement II pendant un cycle de marée.

V. DISCUSSION

Concernant la méthode de mesurage

Une difficulté empêchant une détermination exacte de la profondeur d'un prélèvement est due au fait que lorsqu'on enfonce le carottier, le sol est comprimé de façon absolument variable, fonction de la nature du sol et de la teneur en eau.

De plus, de l'eau sera expulsé du prélèvement, causant une perturbation d'un éventuel gradient de chlorinité, parce que l'eau chassée traverse les autres couches du prélèvement.

De ce fait, les expressions: couche „inférieure" de 25—40 cm, et couche „supérieure" de 15—25 cm, de même que les taux de chlorinité trouvés pour l'eau interstitielle ne seront pas tout à fait exacts.

STATION			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Cl⁻‰	EAU DU FOND DE RIVIÈRE		.66	.42	.43	.16	.01	.05	.04	.05	.04	.03
	EAU INTERSTITIELLE	supérieure	13.0	7.2	16	9	.6	.9	*	.40	*	.14
		inférieure	15.0	7.5	17	11	.6	1.2	*	.05	*	.05

Supérieure: 15 - 25 cm
Inférieure : 25 - 40 cm

Position de l'écluse d'évacuation (↑ entre VI et VII)

XI	XII	XIII	XIV	XIVa	XIVb	XIVc	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
.03	.04	.04	.05	.05	.05	.05	.04	.03	.04	.05	.05	.05	.05
.16	.09	.10	.10	.10	.02	.10	.65	1.6	.17	.05	1.1	.5	.07
.04	.04	.02	.02	.04	.01	.03	.70	2.1	.21	.09	1.6	**	.10

* : non déterminé, sol dur

**: non déterminé, sable très grossier

Tableau I. Chlorinités de l'eau de fond de la Slack et de l'eau interstitielle à deux niveaux.

Concernant la recherche A

En examinant les taux de chlorinité de l'eau interstitielle dans l'estuaire, il est remarquable de constater que ce taux est moins élevé à l'endroit II qu'aux endroits I et III. Cet endroit se trouve juste là, où le tuyau d'égout venant du village d'Ambleteuse se déverse dans la rivière. Il est difficile de vérifier si ce déversement peut être un facteur modifiant la chlorinité: on manque de renseignements quant au débit du tuyau. Il est vrai, pourtant, que lors de nos recherches très peu d'eau (très sale) s'écoulait du tuyau, une quantité qui ne peut pas modifier la chlorinité de façon importante.

Des facteurs telles la vitesse du courant (d'ailleurs très variable, et difficile à mesurer) et la nature du sol, peuvent causer un lessivage plus rapide du sol.

Après l'endroit IV, la chlorinité interstitielle diminue rapidement et fortement (de 9 ‰ jusqu'à 0,6 ‰ sur une distance de 200 mètres).

Ceci pourrait être en corrélation avec la transition de fond sableux vers fond argileux. Cependant, nous avions déjà rencontré de l'argile à l'endroit IV, où la chlorinité est de 9 ‰. Sous l'argile se trouvait une mince couche noire, et sous celle-là seulement du sable gris.

Dans l'estuaire la couche inférieure du prélèvement possédait une salinité plus élevée que la couche supérieure [2]), ceci en contradiction avec une partie des observations à l'Est de l'écluse, où la couche inférieure était moins saline que la couche supérieure. Ceci est peut-être dû à une nature du sol différente. Le sable grossier de l'estuaire possède des lacunes interstitielles plus grandes que l'argile plus en amont. Le sel provenant de l'eau surnageante pourra diffuser plus rapidement dans les interstices du sable que dans ceux de l'argile, et pourra y pénétrer plus profondément. Quand l'eau surnageante est de l'eau douce (pendant la marée basse), la couche supérieure du sable pourra céder une partie du sel accumulé pendant la marée haute. Aussi, des alternations quotidiennes d'eau saumâtre et d'eau de mer y ont lieu, phénomène beaucoup moins net en amont.

Les résultats de la recherche A correspondent avec ceux des recherches précédentes, citées dans l'Introduction: la salinité (respectivement la chlorinité) du sédiment est de 10 à 20 fois plus élevée que celle de l'eau surnageante pendant la marée basse.

2) Cette observation correspond avec celle de Nelson, 1962.

Concernant la recherche B

En examinant les taux de chlorinité en amont, un phénomène étrange attire l'attention. Sur environ 1 km la chlorinité interstitielle dans la couche supérieure (entre VII et XXI) va en diminuant doucement, de 0,4 jusqu'à 0,1 ‰, mais juste avant la confluence de la Slack avec la Rivière de Bazinghen on constate une augmentation nette du taux de chlorinité: 0,65 ‰ à l'endroit XV et même 1,6 ‰ à l'endroit XVI (ce dernier endroit se trouvant exactement à la confluence des deux rivières). Après, la salinité décroit rapidement dans la Slack, et beaucoup moins rapidement dans la Rivière de Bazinghen.

Cette dernière observation semble correspondre avec celles de Stock (message verbal) qui a trouvé que l'eau dans le cours inférieur de la Rivière de Bazinghen était nettement plus saline que celle de la Slack, en amont de la confluence; ceci correspond peut-être avec le fait que la Slack transporte plus d'eau de source que la Rivière de Bazinghen. Nous n'avons pas pu trouver une explication satisfaisante pour le fait que la salinité croît de façon nette après une forte baisse.

L'inondation d'une surface donnée, par exemple lors d'une grande marée dans l'hiver, ne donne pas une explication convaincante. D'abord, ceci aurait eu lieu six mois auparavant, au moins, et de plus, la pente entre les endroits XVI et XVIII, par exemple, est si faible, que les deux endroits auraient été soumis au même degré d'inondation, tandis que le taux de salinité décroit rapidement sur cette faible distance.

D'ailleurs, Dennert et al. (1969), pendant des mesures lors des marées de l'hiver, ne pouvait jamais trouver la chlorinité que nous trouvions dans le sol pendant les mois d'été.

Aussi, est-il impossible de penser que la rivière tombe à sec au point où une concentration de l'eau saline aurait lieu. Il semble peu probable, aussi, que le sel provienne de la mer par infiltration, surtout vu la constation que les couches profondes aux endroits VIII à XIV contiennent moins de sel que les couches superficielles.

La possibilité que la rivière traverse une région avec un sol riche en chlorides est aussi éliminé par le fait que le taux de chlorinité aux endroits VIII à XIV diminue avec la profondeur, alors que la rivière n'a presque pas changé son cours pendant beaucoup d'années. Le fait que des taux de chlorinité semblables ne furent pas trouvés partout où la rivière possède un fond d'argile,

contredit la supposition que cet argile pourrait être un capteur d'ions négatifs.

Résumant, l'on peut affirmer que dans les premières 15—25 centimètres du sédiment formant le lit de la Slack et de la rivière de Bazinghen, le taux de chlorinité est nettement plus élevé que dans l'eau de la rivière juste au dessus du lit. La chlorinité était ordinairement de 2 à 4 fois plus élevée dans le sédiment que dans l'eau surnageante, mais par endroits (par exemple les endroits XVI et XV) de 15 à 50 fois plus élevée.

Concernant la recherche C

L'influence des marées sur le taux de chlorinité dans le sol n'a été exploré qu'incidentellement. La tendence des valeurs trouvées semble correspondre avec les observations de Mangelsdorf, à savoir que la chlorinité (ou salinité) interstitielle est beaucoup moins sujet à des changements que l'eau estuarine surnageante. Ces observations sont d'une grande importance pour la stabilité du milieu interstitiel. Une observation, pendant la marée basse, à l'endroit IIc, était inexplicablement élevée. D'ailleurs, nous avons remarqué qu'à l'endroit IIc, tombant à sec pendant la marée basse, la salinité était plus élevée qu'au milieu du cours d'eau. Ceci est peut-être dû au lessivage dans le cours d'eau pendant la marée basse, quand l'eau est relativement douce, alors que l'endroit IIc n'est submergé que pendant des marées hautes, quand l'eau est très saline.

V. REMERCIEMENTS

Le compte-rendu présent est le résultat de travaux entrepris dans le cadre d'un sujet de doctorat, sous la direction de Monsieur S. Pinkster, Agrégé ès Sciences, et du Professeur J. H. Stock, Docteur ès Sciences.

Les auteurs tiennent à remercier les collaborateurs de l'Institut de Zoologie taxonomique de l'Université d'Amsterdam, en particulier Monsieur H. H. Mittelberg, qui a contribué à la construction du carottier utilisé. Le travail sur place a été rendu possible par une contribution financière du Présidium de l'Université d'Amsterdam.

Les recherches furent entreprises dans la Slack, alors que le Laboratoire Ch. Maurice de la Faculté Libre des Sciences de Lille, à Ambleteuse-sur-Mer, nous servait de base; nous tenons à remercier la direction de ce laboratoire de nous avoir accueilli avec tant d'hospitalité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALEXANDER, W. B., B. A. SOUTHGATE & R. BASDINDALE, 1932. The salinity of the water retained in the muddy foreshore of an estuary. J. mar. biol. Ass. U.K., **18** (1) : 297—298.

—, — & —, 1935. Survey of the River Tees, 2. The estuary — chemical and biological. Tech. Paper Dept. sci. indust. Res., Water Pollution Res., **5** : i-xiv, 1—171.

DENNERT, H. G., A. L. DENNERT, P. KANT, S. PINKSTER & J. H. STOCK, 1969. Upstream and downsteam migrations in relation to the reproductive cycle and to environmental factors in the amphipod, Gammarus zaddachi. Bijdr. Dierk., **39** : 11—43.

MANGELSDORF, P. C., JR., 1967. Salinity measurements in estuaries. Amer. Ass. Advancem. Sci., Publ., **83** : 71—79.

MILNE, A., 1940. The ecology of the Tamar estuary, 4. The distribution of the fauna and flora on buoys. J. mar. biol. Ass. U.K., **24** : 69—87.

NELSON, B. W., 1962. Important aspects of estuarine sediment chemistry for benthic ecology. In: N. MARSHALL, ed., The environmental chemistry of marine sediments. Occ. Publ. Narragansett mar. Lab., **1** : 27—41.

REID, D. M., 1932. Salinity interchange between salt water and overflowing fresh water at low tide, 2. J. mar. biol. Ass. U.K., **18** (1) : 299—306.

STOCK, J. H., H. NIJSSEN & P. KANT, 1966. La répartition écologique des Amphipodes de la famille des Gammaridae dans la Slack et son estuaire. Bull. zool. Mus. Univ. Amsterdam, **1** (3) : 19—29.

(Reçu: le 1er décembre 1970)